

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-247756

(43)Date of publication of application : 27.09.1996

(51)Int.Cl.

G01B 21/20

(21)Application number : 07-077187

(71)Applicant : MITSUTOYO CORP

(22)Date of filing : 08.03.1995

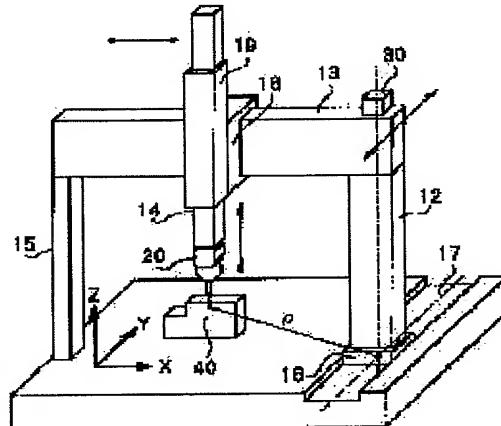
(72)Inventor : TSURUTA TOMOKI

(54) MEASUREMENT ERROR COMPENSATING DEVICE OF THREE-DIMENSIONAL MEASURING MACHINE

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a device for detecting and compensating a measurement error which is generated due to static and dynamic rotary motion of a column in real time by a three-dimensional measuring machine.

CONSTITUTION: A measurement error compensating device is vertical to a surface plate for placing an object 40 to be measured and a column 12 of a three-dimensional measuring machine for receiving a drive force for sliding generates statically or dynamically rotary motion due to sliding. The angle of the rotary motion is detected by a gyro sensor 30 provided at the upper portion of the column 12 and the vector of the amount of compensation is obtained from the angle, and a measurement coordinate value is compensated in real time.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-247756

(43)公開日 平成8年(1996)9月27日

(51)Int.Cl.⁶
G 0 1 B 21/20

識別記号 101
庁内整理番号

F I
G 0 1 B 21/20

技術表示箇所
101Z

審査請求 未請求 請求項の数2 FD (全10頁)

(21)出願番号 特願平7-77187

(22)出願日 平成7年(1995)3月8日

(71)出願人 000137694

株式会社ミツトヨ

神奈川県川崎市高津区坂戸一丁目20番1号

(72)発明者 鶴田 智樹

神奈川県川崎市高津区坂戸1丁目20番1号

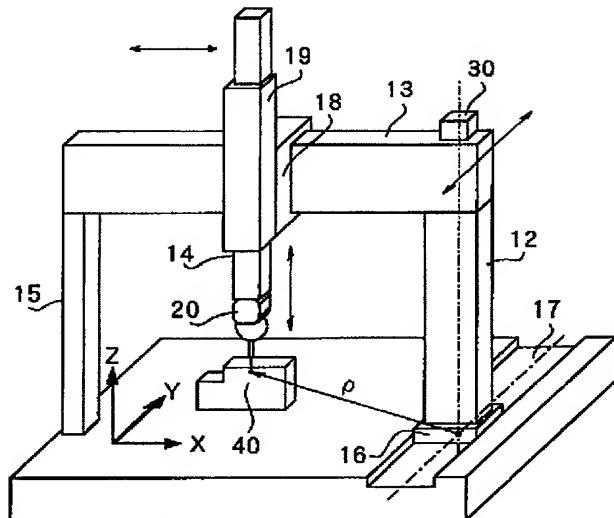
株式会社ミツトヨ内

(54)【発明の名称】三次元測定機の測定誤差補正装置

(57)【要約】

【目的】三次元測定機において、コラムの静的および動的な回転運動によって発生する測定誤差をリアルタイムに検出補正する装置を提供する。

【構成】被測定物を載置する定盤とは垂直であり、摺動のための駆動力を受ける三次元測定機のコラムは、摺動に伴い静的あるいは動的に回転運動を生じる。この回転運動の角度をコラム上部に設けたジャイロセンサで検出して、この角度から補正量ベクトルを求め、測定座標値をリアルタイムに補正する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 被測定物を載置する定盤と、前記定盤に対して垂直に取り付けられて直線移動のための駆動力を受けるコラムと、このコラムに取り付けられコラムの移動方向とは異なる方向へ移動する移動機構とを備え、この移動機構に取り付けられたプローブを用いて前記被測定物表面の三次元座標値を測定する三次元測定機において、

前記コラムの上部に配設されコラムの中心軸周りの回転角度を検出するジャイロセンサと、

前記ジャイロセンサからの検出値を大きさとするコラムの中心軸に平行なベクトルと、前記コラムが駆動力を受ける位置からプローブ先端に装着された球状測定子の中心に至るベクトルとの外積から補正量ベクトルを算出する補正量算出手段と、

前記補正量ベクトルと三次元測定機の補正前の測定座標値を加算した座標値を求める補正座標値算出手段と、を備えたことを特徴とする三次元測定機の測定誤差補正装置。

【請求項2】 前記請求項1において、

前記コラムの上部に配設され、コラムのピッキング、ローリング、ヨーイングの各成分毎に回転角度を検出する3軸ジャイロセンサと、

前記3軸ジャイロセンサから得られる値を成分とするベクトルと、前記コラムが駆動力を受ける位置からプローブ先端に装着された球状測定子の中心に至るベクトルとの外積から補正量ベクトルを算出する補正量算出手段と、

前記補正量ベクトルと三次元測定機の補正前の測定座標値を加算した座標値を求める補正座標値算出手段と、を備えたことを特徴とする三次元測定機の測定誤差補正装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、三次元測定機に係り、特に基本となる移動機構の静的および動的な回転角度をジャイロセンサによって検出して、この値から測定誤差補正量をリアルタイムに求め補正する装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 互いに直交するX軸、Y軸、Z軸それぞれの方向への直線移動機構を有する各駆動軸を有し、これらの軸によって任意の空間に移動できるようにしたプローブによって、被測定物の表面の三次元座標をμm単位で測定可能な三次元測定機が周知であり、機械加工部品等の寸法や形状の検査測定に使われている。この三次元測定機の構造として現在最も多く用いられているのは、図1に示すような被測定物を載置する定盤11、コラム12、X軸ガイド13、サポート15、スピンドル14等により構成される、いわゆる門移動型構造であ

10

20

30

40

50

る。

【0003】 この三次元測定機をさらに細かく説明すると、図2に示すように定盤11上の門型構造は2本の足、すなわちコラム12とサポート15により支えられている。サポート15と定盤11の面との間にはエアーベアリング等の摺動装置が使われ、ほとんど摩擦のない状態で重量を支え、ここには駆動力は一切加えられていない。一方コラム12の下端部のY軸スライダ16には、送りねじやベルト等の駆動機構から駆動力を受けるとともにY軸スライダ16がY軸ガイド17にエアーベアリング等の摺動装置により案内されることで、門型構造全体をY軸方向へ駆動可能としている。また、座標値の検出は、Y軸ガイド17に貼着されたリニアスケール上の位置をY軸スライダ16に取付けられた検出器が検出することで可能としている。

【0004】 X軸方向の駆動はY軸と同様、送りねじやベルト等の駆動機構から駆動力を受けるとともにX軸スライダ18がX軸ガイド13にエアーベアリング等の摺動装置により案内されることで可能としている。また、座標値の検出は、X軸ガイド13に貼着されたリニアスケール上の位置をX軸スライダ18に取付けられた検出器が検出することで可能としている。

【0005】 Z軸方向の駆動はX軸、Y軸と同様、送りねじやベルト等の駆動機構から駆動力を受けるとともにスピンドル14がZ軸ガイド19にエアーベアリング等の摺動装置により案内されることで可能としている。また座標値の検出は、スピンドル14に貼着されたリニアスケール上の位置をZ軸スライダ19に取付けられた検出器が検出することで可能としている。

【0006】 以上説明した門移動型構造の三次元測定機の特徴は、比較的安価に製造でき、かつ大きな測定空間を確保できる点にある。また、被測定物の定盤上への載置等の作業がしやすいなどの長所がある。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、前述の門移動型構造の三次元測定機では、Y軸方向の駆動力を作用させている場所がコラム12の下端部のみであり、反対側のサポート下部はエアーベアリング等で支えているだけなので、駆動力を与えた場合、門型構造自身の慣性モーメントにより構造に歪が生じることになる。例えば図2において被測定物40を測定するため、プローブ20を三次元測定機のY軸方向に移動させると、コラム12がY軸ガイド17上を移動することになるが、その際コラム12にはZ軸方向を中心軸として微小な回転変位、つまり歪が生じる。この現象を図4に、コラム12の真上から見た模式図として示す。この図に示すように、コラム12を中心にX軸ガイド13がθだけ、駆動方向とは略反対方向へ回転しているのがわかる。このコラム12の回転変位は、X軸ガイド13、X軸スライダ18、Z軸スライダ19およびスピンドル14を介してプローブ

20に伝わり、その結果として主にY軸方向の変位として現われる。従って測定子21を被測定物40に接触させて測定したときには、上記のようなコラム12を中心とする回転変位が発生して、これが測定誤差になってしまう。

【0008】また、前記コラム12の回転変位は、図5に示すように、Z軸中心周りの回転変位、つまりヨーイングであるが、この他にもX軸中心周りの回転変位であるピッチング、Y軸中心周りの回転変位であるローリングが存在する。

【0009】従来の測定誤差補正装置は、図9のブロック図で示されるような回路構成を有しておりその信号処理の流れは図12のフロー図のように表わされる。まず最初に、三次元測定機を設置する際にY軸ガイド17上におけるY軸スライダ16の任意の位置におけるコラム12の前記の回転変位量 α 、 β 、 γ をレーザー干渉計等を利用した高精度な運動誤差測定装置70により予め測定して、三次元測定機の制御装置50内のコラム回転変位量メモリ57に蓄えておく。(図12中のステップ101)この処理は、三次元測定機を設置する際に1回だけ実行される。次に実際の測定がステップ100から開始されると、ステップ102、103を経てプローブ20からタッチ信号が入力され、リニアスケール13A、17A、14Aの値がラッチカウンタ51乃至53にラッチされ(ステップ104)。次にコラム回転変位メモリ57に(Xr、Yr、Zr)が入力され(ステップ105)、この座標値に対応したコラムの回転変位成分(α 、 β 、 γ)が出力される(ステップ105)。次に補正量算出回路56Aに(Xr、Yr、Zr)および(α 、 β 、 γ)が入力されて補正量ベクトル δ が出力される(ステップ106)。次に補正座標値算出回路55に(Xr、Yr、Zr)と補正量ベクトル δ が入力され補正座標値(Xc、Yc、Zc)がデータ処理装置60に出力される(ステップ107)。次に全ての測定点を測定したかどうか判断して、Noのときはステップ102へ戻り、Yesのときはステップ109に進み測定を終了する(ステップ108)。以上のような手順で測定誤差を補正していた。

【0010】ところで、コラムの回転変位には、三次元測定機のY軸運動機構自体に起因するもの、つまり三次元測定機が静止している状態においても存在する、いわゆる静的な回転運動と呼ばれるものと、三次元測定機が加減速することによって発生するコラムの曲げやねじれといった弹性歪あるいは振動に起因するもの、つまり三次元測定機が動いている状態で発生する、いわゆる動的な回転運動と呼ばれるものの2種類がある。従来の測定*

$$\delta = \varepsilon \times \rho \quad (\times \text{はベクトル})$$

ここで ε は各軸回りの回転角、 α 、 β 、 γ を各成分とするベクトルである。たとえば、前述したように門移動型三次元測定機において、コラム12に駆動力が作用する

* 誤差補正装置は、コラム12の静的な回転運動によって発生する測定誤差を補正することは可能である。しかし、実際の測定においては、加減速の状態は様々であるため、コラムの動的な回転運動によって発生する測定誤差を補正することはできない。また、レーザー干渉計等を利用した高精度な運動誤差測定装置70による測定には高度に熟練した作業者を必要とし、またその作業は極めて繁雑で長時間を要する等の問題がある。

【0011】本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、その目的は三次元測定機において、コラムの静的および動的な回転運動によって発生する測定誤差をリアルタイムに検出補正する装置を提供することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】 本発明は、前記目的を達成するために、被測定物を載置する定盤と、前記定盤に対して垂直に取り付けられて直線移動のための駆動力を受けるコラムと、このコラムに取り付けられコラムの移動方向とは異なる方向へ移動する移動機構とを備え、この移動機構に取り付けられたプローブを用いて前記被測定物表面の三次元座標値を測定する三次元測定機において、前記コラムの上部に配設されコラムの中心軸周りの回転角度を検出するジャイロセンサと、前記ジャイロセンサからの検出値を大きさとするコラムの中心軸に平行なベクトルと、前記コラムが駆動力を受ける位置からプローブ先端に装着された球状測定子の中心に至るベクトルとの外積から補正量ベクトルを算出する補正量算出手段と、前記補正量ベクトルと三次元測定機の補正前の測定座標値を加算した座標値を求める補正座標値算出手段と、を備えたことを特徴とする。

【0013】また、本発明は上記手段に加え、前記コラムの上部に配設され、コラムのピッチング、ローリング、ヨーイングの各成分毎に回転角度を検出する3軸ジャイロセンサと、前記3軸ジャイロセンサから得られる値を成分とするベクトルと、前記コラムが駆動力を受ける位置からプローブ先端に装着された球状測定子の中心に至るベクトルとの外積から補正量ベクトルを算出する補正量算出手段と、前記補正量ベクトルと三次元測定機の補正前の測定座標値を加算した座標値を求める補正座標値算出手段と、を備えることで三次元測定機の測定誤差補正装置を構成することも可能である。

【0014】ここで本発明で使われている補正計算の基本原理について説明する。図6に示すように、三次元空間内の任意のベクトル ρ が、その始点を中心にして任意の回転軸の周りに微小角だけ回転する場合、ベクトル ρ の終点の変位ベクトル δ は近似的に次式で表わされる。

$$\text{外積を表わす} \quad (1)$$

一点を中心にコラム12自身が回転した場合、図3に示すようにコラム12の回転中心から球状の測定子21の50中心に至るベクトルを $\rho = (L_x, L_y, L_z)$ とし、コラム

12の角変位ベクトル $\epsilon = (0, 0, \theta)$ とすると、この回転による球状の測定子21の中心座標値の変位ベク \star

$$\delta \doteq \epsilon \times \rho = (-Ly\theta, Lx\theta, 0)$$

となる。さらにこの考え方を拡張して、図5に示すようにコラム12に発生するピッキング、ローリング、ヨーイング各回転角度 α, β, γ から角変位ベクトルを $\epsilon = (\alpha, \beta, \gamma)$ とし、コラム12の回転中心から前記球 \star

$$\delta \doteq \epsilon \times \rho = (Lz\beta - Ly\gamma, Lx\gamma - Lz\alpha, Ly\alpha - Lx\beta) \quad (3)$$

となる。これを基にして測定座標値を補正することができる。

【0015】

【作用】三次元測定機のコラム上端部にジャイロセンサを配設することで、コラムのヨーイングの回転角度を検出できる。また、前記ジャイロセンサを3軸タイプのものにすることで、ピッキング、ローリング、ヨーイング各回転角度を検出することができ、この値を成分とするベクトルと、コラムを移動させるスライダの中心からプローブ先端に装着された測定子の中心に至るベクトルの外積を計算することで、補正量ベクトルを求めることができる。この補正量ベクトルを測定座標値に加算することで、三次元測定機の測定座標値を補正することができる。

【0016】

【実施例】以下、本発明を用いた好適な実施例について図面を用いて説明する。図2に、本発明に係る、門型構造を成し門型構造が測定物を載置する定盤上を滑動する三次元測定機の模式図を示す。なお、図2の中で図1と同一符号を付したものは同一構成要素を表わしている。図中、コラム12の上端部にはジャイロセンサ30が配設されている。このジャイロセンサ30はコラム12の中心軸、つまりZ軸中心周りのコラム12の回転変位角度を検出することができる。この現象をコラム12の上方から見たときの模式図を図4に示す。この図のようにコラム12の下端部のY軸スライダ16に駆動力を作用させて、三次元測定機の門型構造をプラスY軸方向へ移動させると、門型構造自身の慣性モーメントによりX軸★

$$\rho = (Xr + Dx, -L + Dy, H + Zr + Dz) \quad (4)$$

ここで、角変位ベクトル $\epsilon = (0, 0, \theta)$ であるの☆

$$\delta = \epsilon \times \rho = (-(-L + Dy)\theta, (Xr + Dx)\theta, 0) \quad (5)$$

となる。次に85においてこの補正量ベクトル δ は前記(Xr, Yr, Zr)とともに補正座標値算出回路55に入力◆

$$(Xc, Yc, Zc) = (Xr, Yr, Zr) + (-(-L + Dy)\theta, (Xr + Dx)\theta, (Xr + Dx)\theta, Zr) \quad (6)$$

この補正済み座標値(Xc, Yc, Zc)はさらにデータ処理装置60に入力され測定データとして表示記録、幾何計算処理等が行われる。

【0018】次に、本発明の他の実施例について説明する。まず、前述の実施例におけるジャイロセンサ30を同時に三軸方向の回転角度変位を検出可能なものに替える。つまり図5に示すようにコラム12のピッキング、

*トル δ は近似的に

※状の測定子21の中心に至るベクトルを $\rho = (Lx, Ly, Lz)$ とすると、この回転による球状の測定子21の中心座標値の変位ベクトル δ は近似的に

★ガイド13はコラム12の中心軸に対して微小な角度 θ だけ回転するものと考えられる。三次元測定機は高剛性であるように作られているためこの角度 θ は極めて小さい値であるが、高速駆動かつ高精度の三次元測定機を実現しようとした場合、この角度 θ による測定誤差が無視できなくなってくる。この角度 θ の値をコラム12の上端部に取り付けた前記ジャイロセンサ30によりリアルタイムに検出する。

【0017】次に前記ジャイロセンサ30からの検出信号がどのように処理されるかを図3、7および10を用いて説明する。図3は図2の三次元測定機の基本構造を簡略に表わした図、図7はブロック回路図であり、図10は信号処理の流れを示したフローチャートである。リニアスケール13A、17A、14Aおよびジャイロセンサ30からの検出信号は絶えず制御装置50内のラッチカウンタ51乃至53およびラッチ回路54に入力されており、ステップ81、82を経てプローブ20からタッチ信号が入力されると、リニアスケール13A、17A、14Aの値をラッチカウンタ51乃至53にラッチするとともにジャイロセンサ30からの検出信号をラッチ回路54にラッチする(ステップ83)。次にこのラッチされたリニアスケールの読み取り値(Xr, Yr, Zr)およびジャイロセンサ30の検出値 θ は、補正量算出回路56に入力される。補正量算出回路56にはあらかじめ、図3に示すH, Lおよび(Dx, Dy, Dz)の値が設定されていて、これを基にして図3に示すベクトル ρ および補正量ベクトル δ を算出する(ステップ84)。すなわち、

$$\rho = (Xr + Dx, -L + Dy, H + Zr + Dz) \quad (4)$$

☆で、従って補正量ベクトル δ は

$$\delta = \epsilon \times \rho = (-(-L + Dy)\theta, (Xr + Dx)\theta, 0) \quad (5)$$

40◆され、補正済み座標値(Xc, Yc, Zc)が求められる。すなわち、

$$(Xc, Yc, Zc) = (Xr, Yr, Zr) + (-(-L + Dy)\theta, (Xr + Dx)\theta, (Xr + Dx)\theta, Zr) \quad (6)$$

ローリング、ヨーイングである α, β, γ を同時に検出可能な3軸ジャイロセンサ30Aを採用する。前記ジャイロセンサ30Aからの検出信号がどのように処理されるかを図3、8および11を用いて説明する。図8はブロック回路図を示し、また図11はこの処理の流れを示したフローチャートである。

50 【0019】リニアスケール13A、17A、14Aお

およびジャイロセンサ30Aからの検出信号は絶えず制御装置50内のラッチカウンタ51乃至53およびラッチ回路54に入力されている。ステップ91、92を経てプロープ20からタッチ信号が入力されると、リニアスケール13A、17A、14Aの値をラッチカウンタ51乃至53にラッチするとともにジャイロセンサ30Aからの検出信号 α 、 β 、 γ をラッチ回路54A乃至54Cにラッチする(ステップ93)。次にこのラッチされ*

$$\rho = (X_r + D_x, -L + D_y, H + Z_r + D_z) \quad (7)$$

ここで、角変位ベクトル $\varepsilon = (\alpha, \beta, \gamma)$ であるの※10※で、従って補正量ベクトル δ は

$$\begin{aligned} \delta = \varepsilon \times \rho &= ((H + Z_r + D_z) \beta - (-L + D_y) \gamma, \\ &\quad (X_r + D_x) \gamma - (H + Z_r + D_z) \alpha, \\ &\quad (-L + D_y) \alpha - (X_r + D_x) \beta) \end{aligned} \quad (8)$$

となる。この補正量ベクトル δ は前記(Xr, Yr, Zr)とともに補正座標値算出回路55に入力され、補正済み座★

$$\begin{aligned} (X_c, Y_c, Z_c) &= (X_r, Y_r, Z_r) + ((H + Z_r + D_z) \beta - (-L + D_y) \gamma, \\ &\quad (-L + D_y) \alpha - (X_r + D_x) \beta) \end{aligned} \quad (9)$$

この補正済み座標値(Xc, Yc, Zc)はさらにデータ処理装置60に入力され測定データとして表示記録、幾何計算処理等が行われる。

【0020】以上、本発明について好適な実施例を挙げて説明したが、本発明は、この実施例に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲での変更が可能である。たとえば、上記実施例では、三次元測定機の構造を門移動型に限って説明したが、被測定物を載置する定盤と、この定盤とは垂直であるとともに摺動のための駆動力を受けるコラムと、このコラムの側面に取り付けられかつ上下に駆動力を受けて摺動可能なスライダと、このスライダに取り付けられコラムとは垂直な方向へ駆動力を受けて摺動可能な主軸を備えた、いわゆる片持ち梁型の三次元測定機においても本発明を利用することができる。

【0021】また、ジャイロセンサには圧電素子を利用した振動ジャイロ、光ファイバを利用した光ファイバジャイロなどがあるが、いずれのジャイロセンサにおいても、回転角度、回転角速度の検出が可能となっていて、感度、精度ともに十分高ければ、いずれのジャイロセンサを用いても本発明は実施可能である。

【0022】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、コラムの回転運動のうち、静的な回転運動と動的な回転運動の両方によって発生する測定誤差を補正することができる。

【0023】また、従来からおこなわれている補正方法では任意の空間座標毎に補正值を予めレーザー干渉測長装置等で計測して記憶装置等に記憶しておく必要があったが、本発明では3軸ジャイロセンサから検出した値に基づき補正值をその都度リアルタイムに算出するので、補正值を予めレーザー干渉測長装置等で計測したり記憶装置に記憶させておく必要が全くない。

*たリニアスケールの読み取り値(Xr, Yr, Zr)およびジャイロセンサ30Aの検出値(α , β , γ)は、94において補正量算出回路56Aに入力される。補正量算出回路56Aにはあらかじめ、図3に示すH, Lおよび(Dx, Dy, Dz)の値が設定されていて、これを基にして図3に示すベクトル ρ および補正量ベクトル δ を算出する(ステップ94)。すなわち、

$$(7)$$

ここで、角変位ベクトル $\varepsilon = (\alpha, \beta, \gamma)$ であるの※10※で、従って補正量ベクトル δ は

$$\begin{aligned} \delta = \varepsilon \times \rho &= ((H + Z_r + D_z) \beta - (-L + D_y) \gamma, \\ &\quad (X_r + D_x) \gamma - (H + Z_r + D_z) \alpha, \\ &\quad (-L + D_y) \alpha - (X_r + D_x) \beta) \end{aligned} \quad (8)$$

となる。この補正量ベクトル δ は前記(Xr, Yr, Zr)とともに補正座標値算出回路55に入力され、補正済み座★

$$\begin{aligned} (X_c, Y_c, Z_c) &= (X_r, Y_r, Z_r) + ((H + Z_r + D_z) \beta - (-L + D_y) \gamma, \\ &\quad (-L + D_y) \alpha - (X_r + D_x) \beta) \end{aligned} \quad (9)$$

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る門移動型構造の三次元測定機である。

【図2】本発明に係る門移動型構造の三次元測定機の模式図である。

【図3】本発明に係る門移動型構造の三次元測定機の構造を簡略化した模式図である。

【図4】三次元測定機のコラムに生じる微小な回転変位を真上から見た模式図である。

【図5】駆動に伴い三次元測定機のコラムに生じるピッキング、ローリング、ヨーイングを説明する図である。

【図6】本発明の基本原理を説明する図である。

【図7】本発明に係る三次元測定機の測定誤差補正装置のブロック回路図である。

【図8】本発明に係る三次元測定機の測定誤差補正装置のブロック回路図である。

【図9】従来例における三次元測定機の測定誤差補正装置のブロック回路図である。

【図10】本発明に係る処理の流れを示したフローチャートである。

【図11】本発明に係る処理の流れを示したフローチャートである。

【図12】従来例における処理の流れを示したフローチャートである。

【符号の説明】

10 三次元測定機

11 定盤

12 コラム

13 X軸ガイド

13A リニアスケール(X軸)

14 Z軸スピンドル

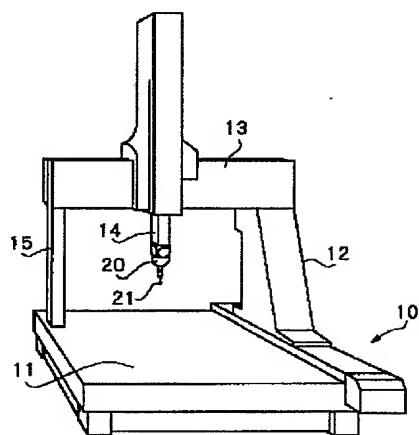
14A リニアスケール(Z軸)

50 15 サポータ

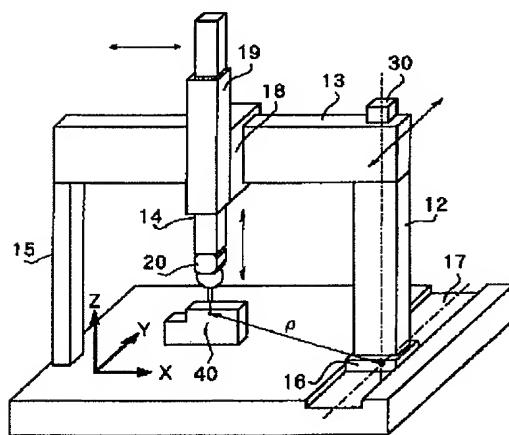
- 16 Y軸スライダ
 17 Y軸ガイド
 17A リニアスケール (Y軸)
 18 X軸スライダ
 19 Z軸スライダ
 20 プローブ
 21 測定子
 30 ジャイロセンサ
 30A 三軸ジャイロセンサ
 40 被測定物
 50 制御装置
 51 ラッチカウンタ (X軸)

- * 52 ラッチカウンタ (Y軸)
 53 ラッチカウンタ (Z軸)
 54 ラッチ回路
 54A ラッチ回路
 54B ラッチ回路
 54C ラッチ回路
 55 補正座標値算出回路
 56 補正量算出回路
 56A 補正量算出回路
 10 57 コラム回転変位量メモリ
 60 データ処理装置
 * 70 運動誤差測定装置

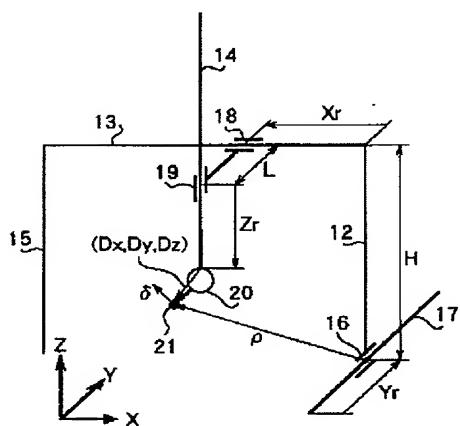
【図1】



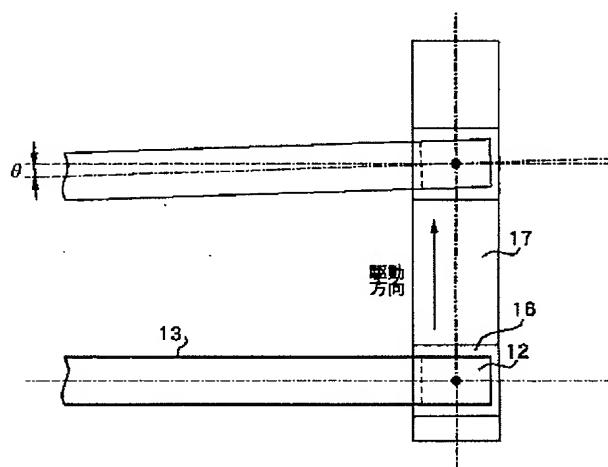
【図2】



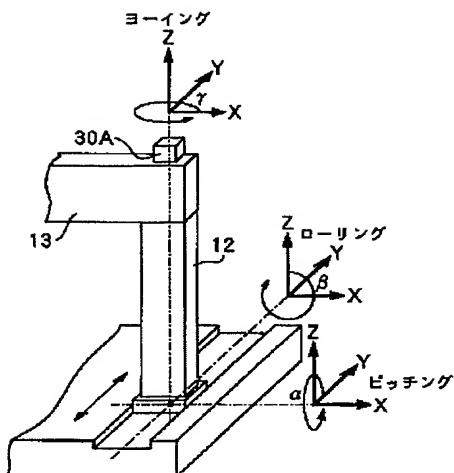
【図3】



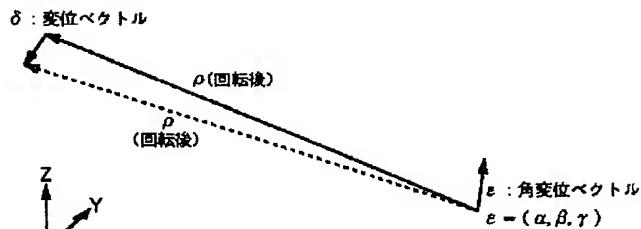
【図4】



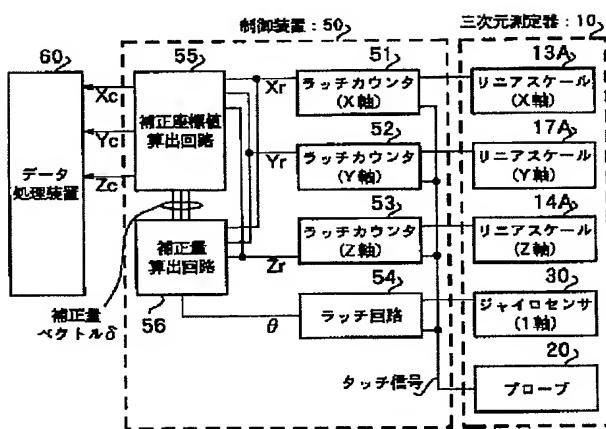
【図5】



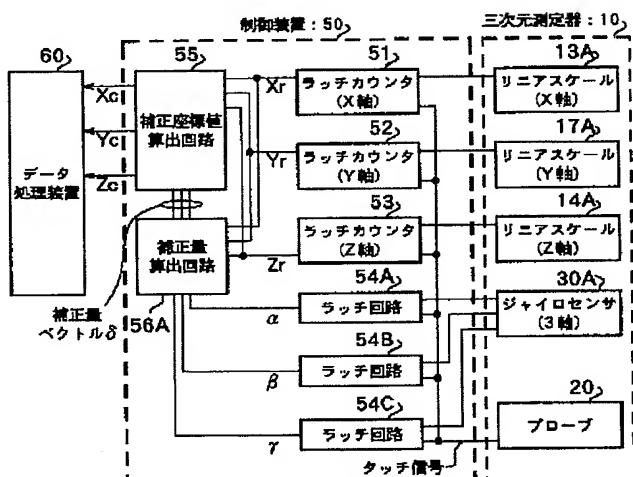
【図6】



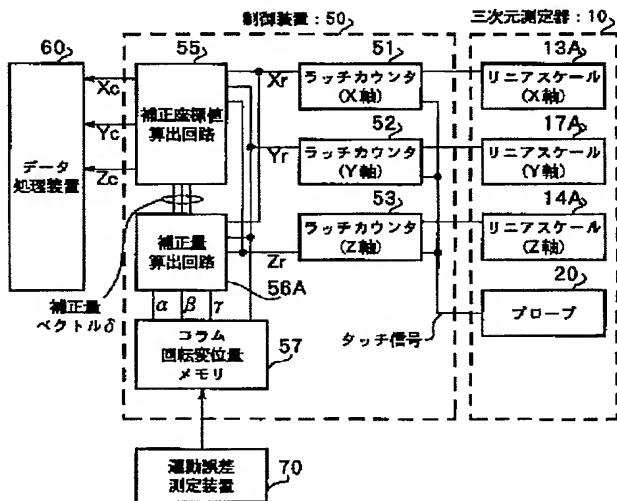
【図7】



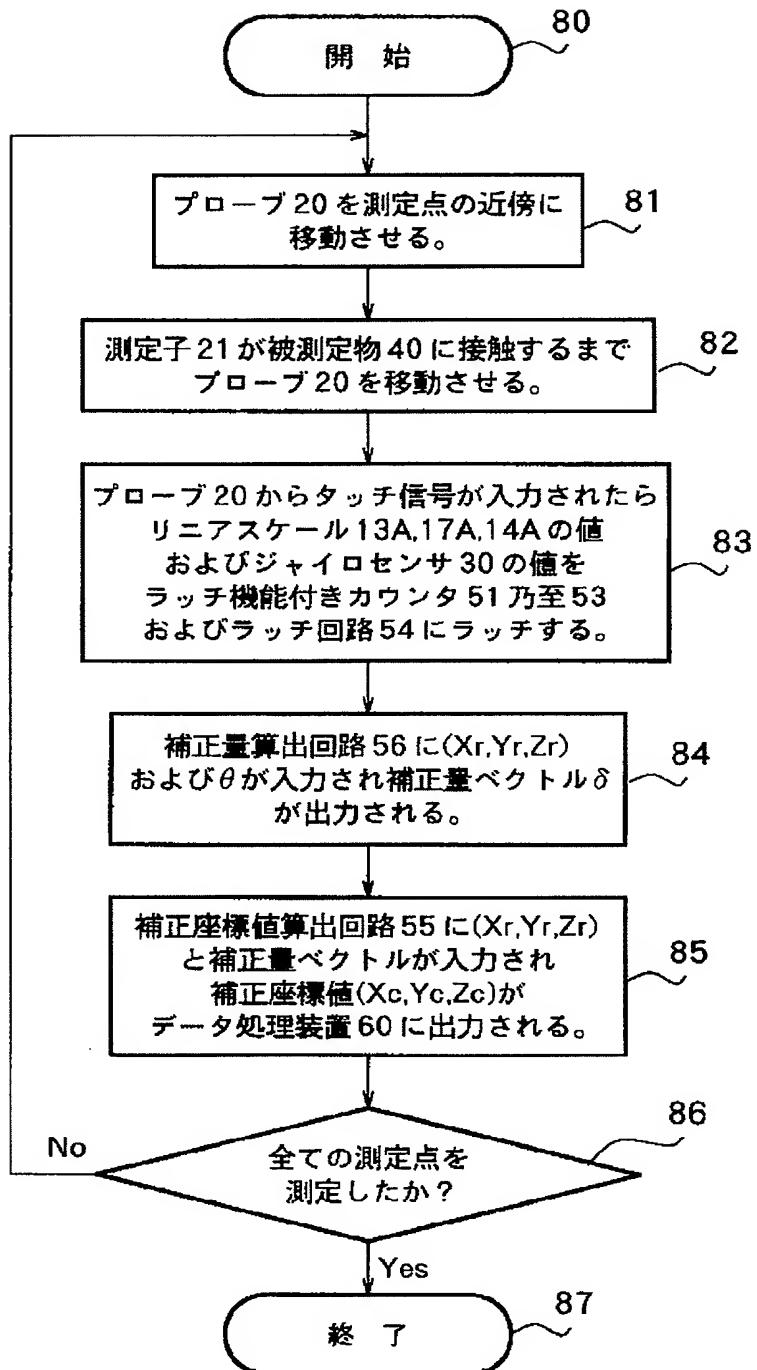
【図8】



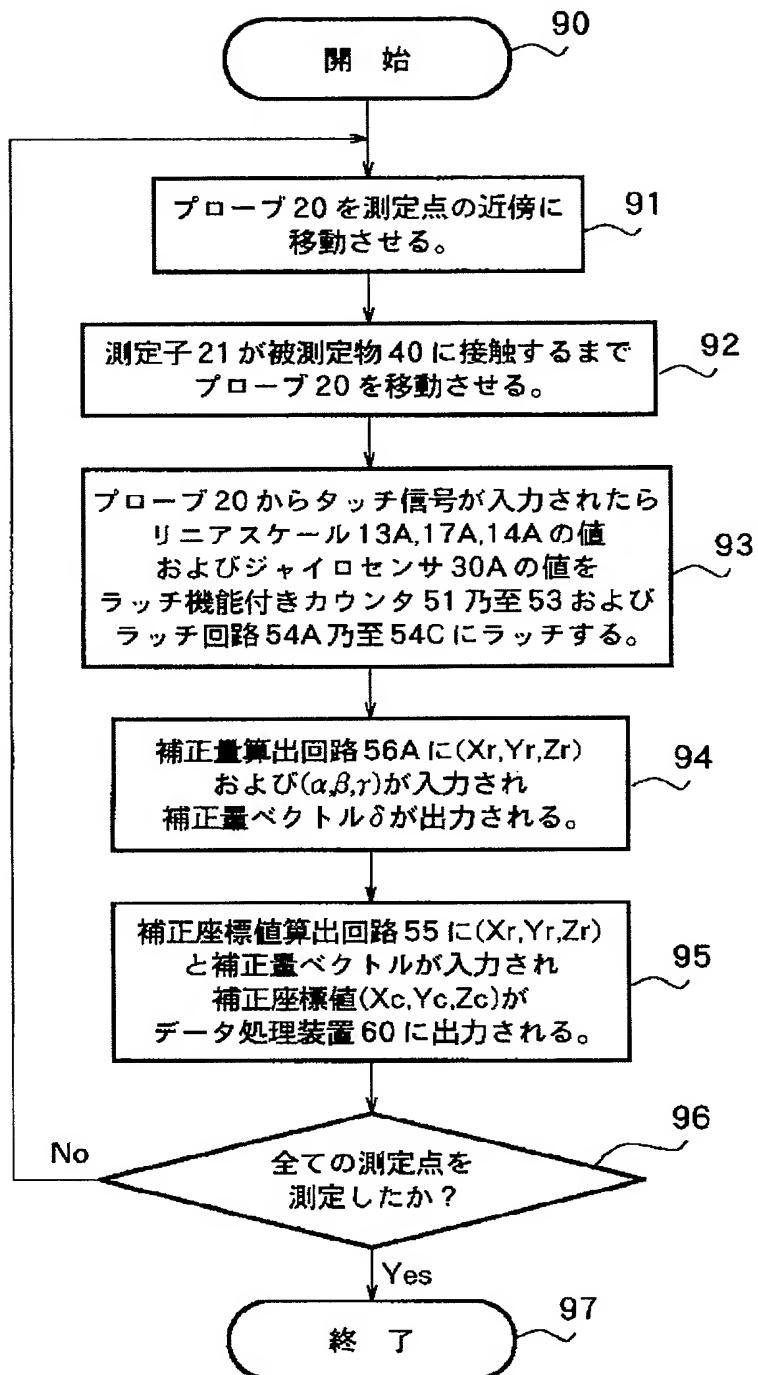
【図9】



【図10】



【図11】



【図12】

